

COSMIC 大气产品研究

官莉 张雪慧 王喆 (南京信息工程大学遥感学院, 江苏南京210044)

摘要 介绍了COSMIC系统及应用,并详细介绍了COSMIC的各种大气产品,进行了初步比较。

关键词 无线电掩星技术;COSMIC;大气产品

中图分类号 S127 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)18-07869-03

Study on COSMIC Atmospheric Product

GUAN Li et al (School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract COSMIC provides a new approach to do the atmospheric profile in the areas where it is difficult to measure periodically through remote sensing technique, with the feature of global covering, high precision and vertical resolution, low consuming, quasi-real time and all-weather measurement. In this paper the COSMIC atmospheric products and primarily comparing were described in detail.

Key words Occultation; COSMIC; Atmospheric product

全球定位系统/气象学(GPS/MET)首次实现了GPS地球掩星探测,在该基础上,美国大学大气研究联合会(UCAR)和台湾空间计划局(NSPO)等机构研制了气象、电离层及气候卫星探测系统/中华3号卫星系统COSMIC(Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere and Climate)/FORMOSAT-3(Taiwan's Formosa Satellite Mission 3)。COSMIC是利用现代遥感技术、通信技术和计算技术解决当今地球科学重大问题的地球科学卫星探测系统,作为GPS/MET的后续计划,其主要是为了进行气象与气候研究、气候监测、空间天气和大地测量等研究^[1]。

1 COSMIC 系统

COSMIC于2006年4月14日发射,系统包括低地球轨道卫星(LEO)、地面数据接收与飞行器测控站、数据分析中心和数据通信网络等。

COSMIC星座由6颗近地轨道卫星构成,采用3轴稳定系统,轨道倾角为72°,轨道高度为800 km,卫星轨道升交点在赤道上平均分布。为进行气象、空间天气研究及预报、气候监测和地面测量,每颗低轨卫星携带3种科学试验有效载荷:GPS掩星接收机;小型电离层光度计;三频段信标发射机^[2]。这些低轨卫星和GPS卫星对地球进行临边掩星探测,目前每天低轨卫星大约可反演获得电离层和大气参数的1800个独立的垂直廓线数据,预期能达到2500个。这些剖面包括从地球表面到约60 km高度的全球大气折射率、气压、密度、温度和水汽压等气象参数,以及90~800 km的电离层数据。

COSMIC卫星数据通过L波段传输到2个高纬度地面站,地面接收站再将数据传送到COSMIC数据分析和存储中心(CDAAC),CDAAC作为COSMIC中的关键部分,将负责COSMIC的数据分析和存储,其主要功能是监测和控制有效载荷、对输入数据进行质量控制、反演科学数据以及分配和存储数据。CDAAC处理科学数据,以2种方式输出:一种是应用于天气和空间天气监测和预报的近实时数据,另一种是应用于气候和大气研究的更精确、更有效的后处理数据。

CDAAC的目标是在3 h内向业务应用和科学研究部门传送高质量的全球数据,进行天气预报和空间天气监测;在1~2周内,从国际GPS服务中心得到最精确的后处理卫星轨道,利用这些轨道参数进行气候数据的后处理,为气候研究计算出高精度结果^[3]。

COSMIC计划的目的主要有:改善全球和局地的天气预报,改善数值天气预报的精度;改善全球空间天气监测和预报;为气候和全球变化研究提供数据;提高对地球重力场的认识。

无线电探空仪是目前最精确的大气数据源之一,全球分布的约900个探空仪网络直接影响全球数值天气预报的精度。但是无线电探空仪在时间和空间上的分辨率较低,绝大多数站点每天只观测2次,图1给出了某天COSMIC掩星事件和全球探空站的位置分布图,其中圆圈为探空站位置,菱形为COSMIC掩星事件位置。由图1可见,在广阔的海洋和荒漠上很少部署无线电探空仪,而COSMIC探测点在全球较均匀地分布。相对于其他观测系统,COSMIC具有许多独特的特征,如数据的高精度、高垂直分辨率、受云和降水影响较小以及长期稳定、费用低等。所有这些特征使COSMIC数据能有效地补充其他观测系统,进行大量气象过程的研究。

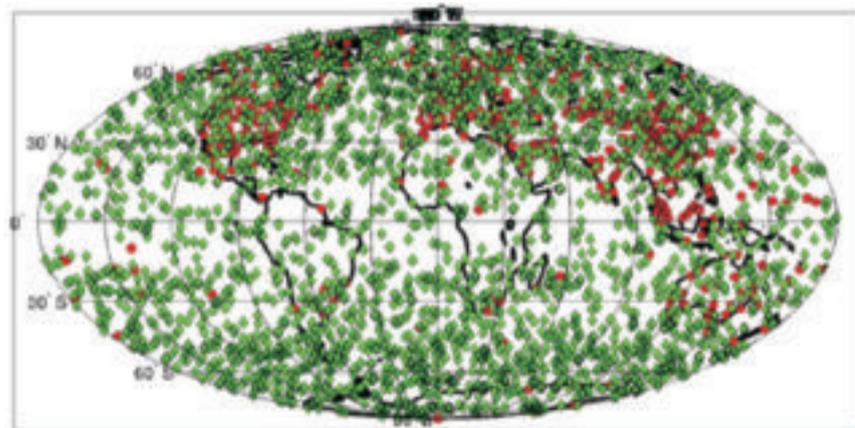


图1 COSMIC掩星事件与全球探空站的位置分布

Fig.1 COSMIC occultation events and distribution of global radiosonde station

2 大气参数反演方法

大气GPS掩星观测是指在低轨卫星(LEO)上利用GPS接收机临边接收GPS卫星发射的电波信号,当GPS卫星发射的电波信号穿过地球大气层时,由于大气对电波产生的折射效应,电波射线发生延迟;地球大气折射率梯度的存在又使信号的路径产生弯曲,用安装在LEO卫星上的高精度GPS接

基金项目 国家自然科学基金项目(40605009);江苏省自然科学基金项目(BK2006575)。

作者简介 官莉(1973-),女,新疆库尔勒人,博士,副教授,从事大气遥感科学与技术方面的研究。

收稿日期 2008-04-14

收机接收这些延迟信号,就可观测到掩星事件。在掩星资料处理中,由于GPS卫星的周期远远大于LEO卫星的周期,可以假设LEO卫星相对一个“固定”的GPS运行,在LEO卫星相对GPS卫星向下或向上运行的过程中,从GPS卫星发出的无线电信号路径在大气中的切点将从大气层顶部向下或从地面向上变化,需要进行一次由上而下或由下而上的大气剖面扫描,完成1次上升或下降的掩星测量。1次掩星观测过程的持续时间大约为80 s(若通过整个电离层,该时间会长些)。

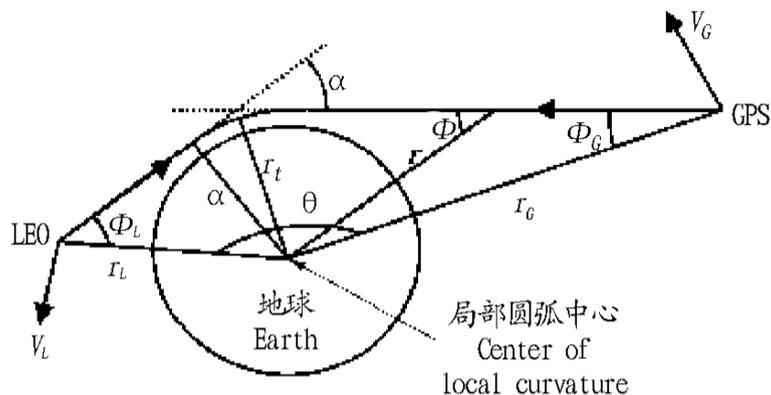


图2 LEO GPS 掩星观测示意

Fig 2 Sketch map of LEO GPS satellite occultation observation

图2简单示意了GPS和LEO卫星构成掩星观测的几何关系,装载在LEO卫星上的GPS双频接收机记录精确的双频GPS信号相位延迟量和信噪比。从相位延迟序列,通过简单的时间差分,可得到相位延迟率(或大气多普勒漂移)序列。用已知的精密GPS和LEO卫星轨道信息,即可从观测到的相位延迟率(或大气多普勒漂移)序列计算GPS信号的弯曲角剖面,在地球大气介质局部球对称的假设下,通常用Abel积分逆变换把弯曲角序列反演得到大气折射指数剖面;然后利用理想气体状态方程、流体静力学方程和大气折射率的Smith-Weintraub方程,还可以从折射指数剖面反演得到温度、压力、密度和水汽剖面(假设温度剖面可以从模式中获得)^[4]。

在中性大气中,当水汽含量较少时,通常情况下可忽略水汽影响,反演得到干空气温度。但是,当水汽含量较为丰富,大气层结变化剧烈时,往往产生2方面问题:一方面,电波信号在穿过低层大气时,由于大量水汽的存在且分布不均匀,造成信号急剧变化,导致信号捕获困难,甚至跟踪丢失而使信号中断;另一方面,对流层低层大量水汽的存在,往往产生多径效应,多条电波同时到达接收机,几何光学假设不能成立,温度与水汽的模糊关系同时造成反演困难。上述GPS掩星的几何光学标准算法中的基本假设是大气各向同性,一般适用于干燥的高纬度地区,在潮湿的中、低纬度的下对流层区域,丰富的水汽含量和相应复杂的时空结构经常产生信号多路径和超折射效应,而这种方法并没有合理考虑由折射率剖面同时反演温度和g水汽剖面的模糊度困难,因此掩星技术的标准反演算法不太适合中、低纬度带。

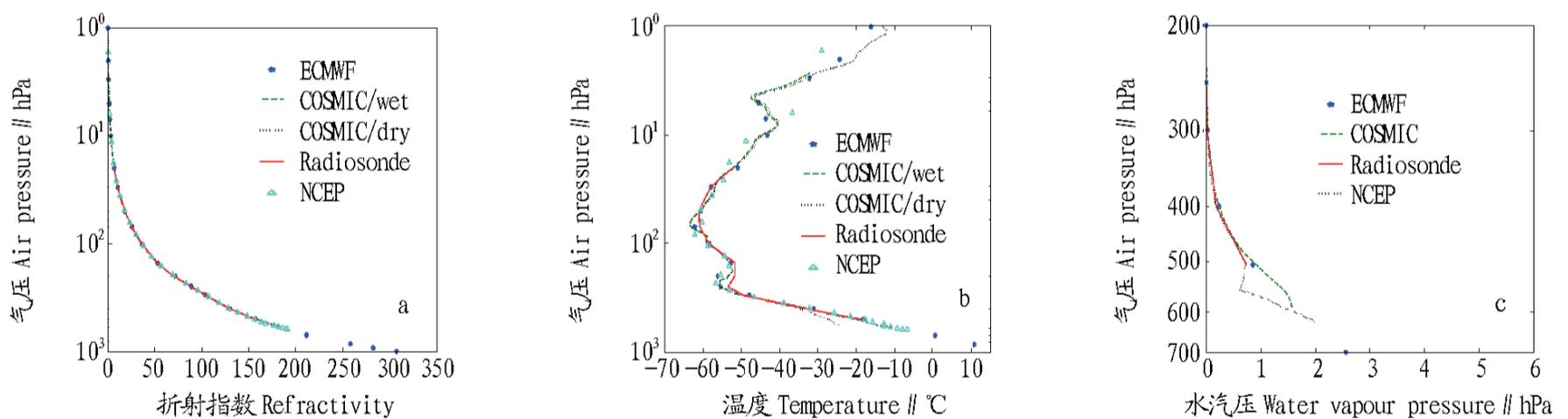
当今,有些气象数值预报模式,如ECMWF和NECP已能够提供全球和局地的较精确的大气参数分布场,合理考虑这些大气背景场和观测量的误差特性,利用一维变分反演技术则可以很大程度地克服模糊度困难,获得最优的气象参数廓线估计。COSMIC后处理产品就是以欧洲中尺度天气预报分析ECMWF资料为背景场,COSMIC掩星观测得到的折射率廓线为观测值,采用大气折射率一维变分同化方法同时反演得到大气层的压强、温度以及水汽廓线^[5-6]。

3 COSMIC 大气产品

CDAAC网址为 <http://cosmic-io.cosmic.ucar.edu/cdaac/>,在线有近实时COSMOCRT产品(几小时后可得到)和COSMIC后处理反演产品(一般6星期后可得到),这里只详细介绍Level 2的大气产品。

atnPf: 弯曲角、大气折射指数和干温度廓线。

wetPpf: 以ECMWF客观分析场作为背景场,由一维变分法反演的大气折射指数、温度和水汽廓线。



注:a,大气折射指数;b,温度;c,水汽压。

Note :a. Atmospheric refractivity ;b. Temperature ;c. Water vapour pressure .

图3 COSMIC 掩星观测反演个例

Fig 3 Example of retrieval for COSMIC occultation observation

ncpPf: 与掩星事件时间、空间匹配的NCEP分析场的折射指数、温度、气压和水汽廓线。

ecnPpf: 与掩星事件时间、空间匹配的ECMWF分析场的折射指数、温度、气压和水汽廓线。

sonPpf: 与掩星事件时间、空间匹配的无线电探空曲线。

以2007年2月27日COSMIC 5号掩星在中国地区第一次观测为例,观测时间为07:36(UTC),切点经纬度为37.4°N、96.9°E。图3a~c分别给出了反演的大气折射率、温度和水汽压的垂直廓线,并将COSMIC反演序列与时间、空间匹配的ECMWF、NCEP分析值和无线电探空观测值进行比较,探空站

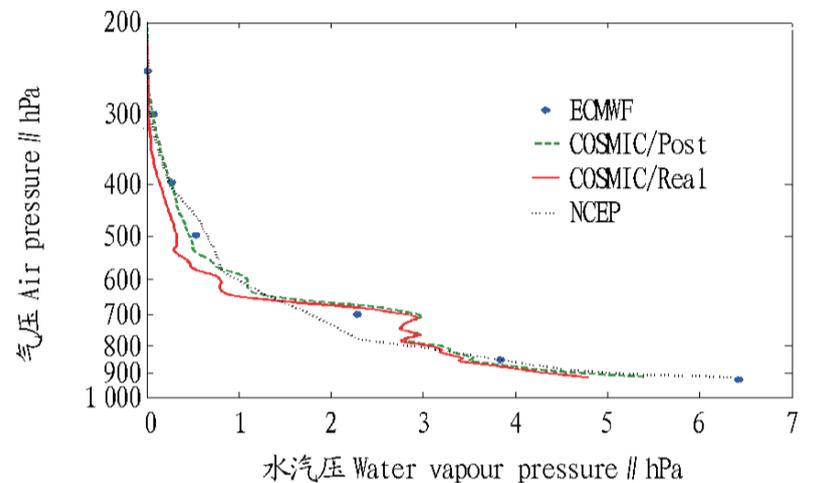
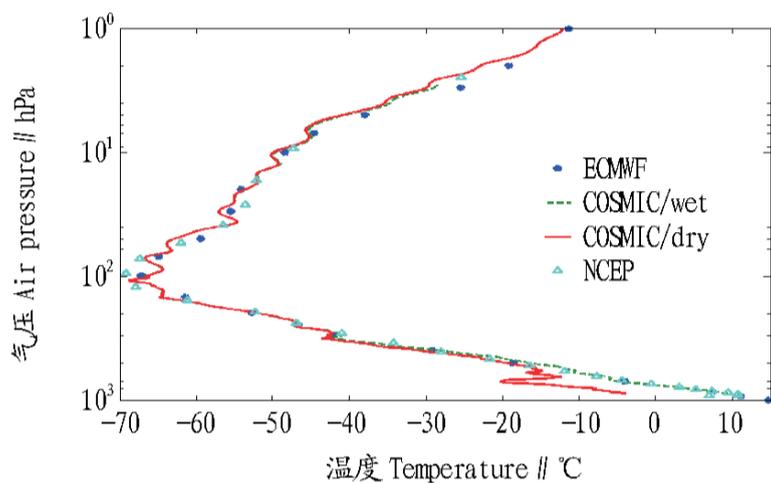
经纬度为 $36.3^{\circ}\text{N}, 98.1^{\circ}\text{E}$, 与掩星切点位置相距 157.8 km 。由图3a可见, 各种方法提供的大气折射率廓线都非常接近, 而不同方法的温度和水汽压廓线有些区别, COSMIC 因其较高的垂直分辨率, 能比数值预报提供大气廓线的更精细结构, 图3b中COSMIC反演的大气干温度在对流层低层比考虑了水汽影响的反演温度略小, 这与很多文献中的研究结果一致。

为分析COSMIC实时大气产品与后处理产品的区别, 再选取2007年10月30日2号掩星15:01的1次观测为例, 切点经纬度为 $35.8^{\circ}\text{N}, 111.5^{\circ}\text{E}$, 图4a、b分别显示了该个例的温度和水汽压廓线。与上述个例结论类似, 实时和后反演的大气折射指数及其他模式结果都很接近, 实时和后处理的温度廓线几乎没有多大差别, 只有干温度和考虑水汽时反演的温

度有区别, 而图4b显示实时和后处理的以及模式预报的水汽压相差相对较大。

4 结语

COSMIC 具有全球覆盖、精度高、垂直分辨率高、长期稳定、费用低、全天候和几乎准实时的观测特点, 可以提供高垂直分辨率的温度、折射率、压力和水汽信息、重力位势高度, 进行各种大气过程的研究, 提高数值天气预报的精度, 能在各种气象条件下监测地球大气, 其长期稳定性、分辨率、覆盖范围和精度都是前所未有的。它为地球表面上难于进行定期测量的地区提供了一个全新的测定大气剖面的方法, 这对广阔的海洋、沙漠和近极地等荒漠地区上空的大气研究具有特定的意义。



注:a、b 分别为温度和水汽压反演。

Note: a and b stand for the retrieval of temperature and water vapour pressure, respectively.

图4 COSMIC 掩星观测反演个例

Fig.4 Example of for COSMIC occultation observation

参考文献

- [1] 王柏春, 彭洪森, 顾大权, 等. COSMIC 及其在气象领域的应用[J]. 气象科学, 2002, 22(2): 247-252.
- [2] 张大海, 郭鹏, 张贵霞, 等. GPS 掩星技术低轨卫星计划的现状及进展[J]. 天文学进展, 2002, 20(2): 114-121.
- [3] 郭鹏, 洪振杰, 张大海. COSMIC 计划[J]. 天文学进展, 2002, 20(4): 324-

334.

- [4] 王鑫, 吕达仁. GPS 无线电掩星技术反演大气参数方法对比[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 346-353.
- [5] 刘敏, 郭鹏. GPS/LEO 掩星观测的变分同化技术[J]. 天文学进展, 2006, 24(1): 27-41.
- [6] 洪振杰, 郭鹏, 刘敏, 等. GPS 掩星折射率剖面一维变分同化[J]. 天文学报, 2006, 47(1): 100-110.

(上接第7698页)

- [10] WEISS D, CARR D, KALLACHAN J, et al. Clinical findings of West Nile Virus infection in hospitalized patients, New York and New Jersey, 2000[J]. Emerg Infect Dis, 2001, 7: 654.
- [11] SHIRATO K, MIZUTANI T, KARIWA H, et al. Discrimination of West Nile virus and Japanese encephalitis virus strains using RT-PCR/RFLP analysis[J]. Microbiol Immunol, 2003, 47(6): 439-445.
- [12] GRANWEHR B P, ILLIBRIDGE K M, HIGGS S, et al. West Nile virus: where are we now? [J]. Lancet Infect Dis, 2004, 4(9): 547-556.
- [13] 王声会, 耿忠海, 黄毓茂. 西尼罗河病及其防控方案[J]. 国外畜牧学—猪与禽, 2004, 24(4): 739-741.
- [14] GONCALVES A P, MEN R, WERNLY C, et al. Chimpanzee Fab fragments and a derived humanized immunoglobulin G1 antibody that efficiently cross-neutralize dengue type 1 and type 2 viruses[J]. J Virol, 2004, 78(23): 12910-12918.
- [15] OLIPHANT T, ENGLE M, NYBAKKEN G E, et al. Development of a humanized monoclonal antibody with therapeutic potential against West Nile virus[J]. Nat Med, 2005, 11(5): 522-530.
- [16] FENGWEI B, TIAN W, UIPAL P, et al. Use of RNA interference to prevent lethal murine west Nile virus infection[J]. J Infect Dis, 2005, 191: 1148-

1154.

- [17] YAMSHCHIKOV G, BORISEVICH V, KWOK C W, et al. The suitability of yellow fever and Japanese encephalitis vaccines for immunization against West Nile virus[J]. Vaccine, 2005, 23(39): 4785-4792.
- [18] LEIZET M, KAR K, FOELLMER H G, et al. A recombinant envelope protein vaccine against West Nile virus[J]. Vaccine, 2005, 23(30): 3915-3924.
- [19] KARACA K, BROWN R, AUSTGEN L E, et al. Recombinant canarypoxvectored west Nile virus (WNV) vaccine protects dogs and cats against a mosquito WNV challenge[J]. Vaccine, 2005, 23: 3808-3813.
- [20] HUANG C Y, SIENGO S J, WHITEMAN M C, et al. Chimeric dengue 2 PDK-53/West Nile NY99 viruses retain the phenotypic attenuation marker of the candidate PDK-53 vaccine virus and protect mice against lethal challenge with West Nile virus[J]. J Virol, 2005, 79(12): 7300-7310.
- [21] KOFLER R M, ABERLE J H, ABERLE S W, et al. Mimicking live flavivirus immunization with a noninfectious RNA vaccine[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2004, 101(7): 1951-1956.
- [22] MICHAEL J T, MICHEL B, GEORGE V L, et al. DNA vaccine for West Nile virus infection in fish (Carassius auratus) [J]. Emerg Infect Dis, 2003, 9(9): 1077-1081.